

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 84 (1966)
Heft: 1

Artikel: Übungen und Demonstrationen in Materialprüfung
Autor: Amstutz, Ed. / Rösli, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-68803>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

der wahren liegen. – Wenn zu Beginn dieses Abschnittes gesagt wurde, dass Kriterien fehlen, um zu beurteilen, ob kleine Punktverschiebungen als reell zu betrachten sind, so liegt in der Schaffung solcher Kriterien ein Problem vor, für das Lösungen gefunden werden sollten.

Kommen wir nun auf die Aufgabe des Bauingenieurs zurück, die sich ihm nach Abschluss der Berechnungen für eine Deformations- oder Rutschungsmessung stellte. Er erhält vom Spezialisten als Ergebnisse die Verschiebungen mit ihren mittleren Fehlern. Am Bauingenieur liegt es nun, Schlüsse in bezug auf das Bauwerk oder auf das Gelände zu ziehen. Sind die Beträge entweder gross oder so klein, dass sie als bedeutungslos betrachtet werden können, bietet die Beurteilung kaum Schwierigkeiten. Anders liegen die Verhältnisse, wenn die ermittelten Verschiebungen nur um wenig grösser sind als deren mittlere Fehler. Nur Einsicht in die Fehlertheorie, verbunden mit der allgemeinen Beurteilung des Bauwerkes, können zu zuverlässigen Schlussfolgerungen führen. Mindestens sollte darüber Klarheit bestehen, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Verschiebungen ausserhalb der durch die mittleren Fehler gegebenen Grenzen 32%, dass die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten des doppelten mittleren Fehlers noch 5% und die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten

des dreifachen mittleren Fehlers noch 2‰ beträgt. Ergibt eine Deformationsmessung z. B. eine Verschiebung von 3 mm mit einem mittleren Fehler von ± 1 mm, so besteht die Wahrscheinlichkeit von 32%, dass die tatsächliche Verschiebung grösser als 4 mm und kleiner als 2 mm ist, und die Wahrscheinlichkeit von 5%, dass die tatsächliche Verschiebung grösser als 5 mm oder kleiner als 1 mm ist. Aus Gründen, die auf den vorderen Seiten dargelegt wurden, wird man jedoch vorsichtigerweise den mittleren Fehler, der sich aus der Ausgleichung zu $\pm 1,0$ mm ergibt, höher, vielleicht zu $\pm 1,5$ mm ansetzen.

Zu diesen kritischen Bemerkungen über die Art, wie Bauingenieure die Ergebnisse von Deformations- und Rutschungsmessungen beurteilen sollten, sah sich der Verfasser dieses Aufsatzes durch manche Erfahrungen der letzten Jahre veranlasst.

Wurden in diesen Ausführungen auch Nachteile der geodätischen Methoden angeführt, so bedeutet dies nicht eine generelle Kritik am Verfahren und erst recht nicht an der Bearbeitung mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate. Trotz ihres komplizierten Charakters kann auf die geodätische Methode solange nicht verzichtet werden, als die relativen Methoden das Problem der Verschiebung nicht lösen.

Übungen und Demonstrationen in Materialprüfung

DK 620.17

Von Prof. Ed. Amstutz, Direktionspräsident, und Dr. A. Rösli, Abteilungsvorsteher der EMPA, Dübendorf

Die Vermittlung der technisch-wissenschaftlichen Bildung an den werdenden Bauingenieur muss sich auf das einrichten, was durch Vorlesungen, Rechen-, Konstruktions- und einfachere Laborübungen geboten werden kann. Dies bringt mit sich, dass alles das, was recht summarisch und meistens nicht ganz zutreffend im Begriff «Theorie» zusammengefasst wird, in der Vorstellung des jungen Ingenieurs über seine zukünftige Tätigkeit leicht ein Übergewicht einnimmt. Die Hauptaufgabe der Übungen und Demonstrationen in «Materialprüfung» besteht nun darin, ein Gegengewicht zu dieser Einstellung zu vermitteln. Es gilt, *die tatsächliche Wirklichkeit* der Eigenschaften der Bau- und Werkstoffe, wie auch des Verhaltens daraus hergestellter Bauteile *möglichst anschaulich vor Augen zu führen*. Es wird natürlich nie gelingen, die ganze ungeheure Vielfalt der Eigenschaften und das von so zahlreichen Einflüssen abhängige Verhalten in seiner gesamten Fülle vorzuführen. Der Umfang der Neubauten der EMPA in Dübendorf, wo die Übungen und Demonstrationen stattfinden, mag immerhin auch dem Studenten einen Hinweis geben, dass das, was gezeigt werden kann, nur einen bescheidenen Ausschnitt aus einer weit ausgreifenden Prüf- und Versuchstätigkeit darstellt.

Das Schwergewicht bei den Übungen und Demonstrationen ist zu legen auf das Erkennen der Grenzen der Gültigkeit vereinfachender, idealisierender Annahmen über die Materialeigenschaften und auf das Aufzeigen von Grenzzuständen, die für die langfristige Bewahrung oder schliesslich für die Tragfähigkeit massgebend sind. In diesem Rahmen lassen sich etwa folgende vier Gruppen bilden:

- die Eigenschaften und das Verhalten der Bau- und Werkstoffe selber,
- baustatische Besonderheiten, die zwar leicht zu begreifen, nur aus der Vorstellung heraus aber nicht ohne weiteres zu erkennen sind,

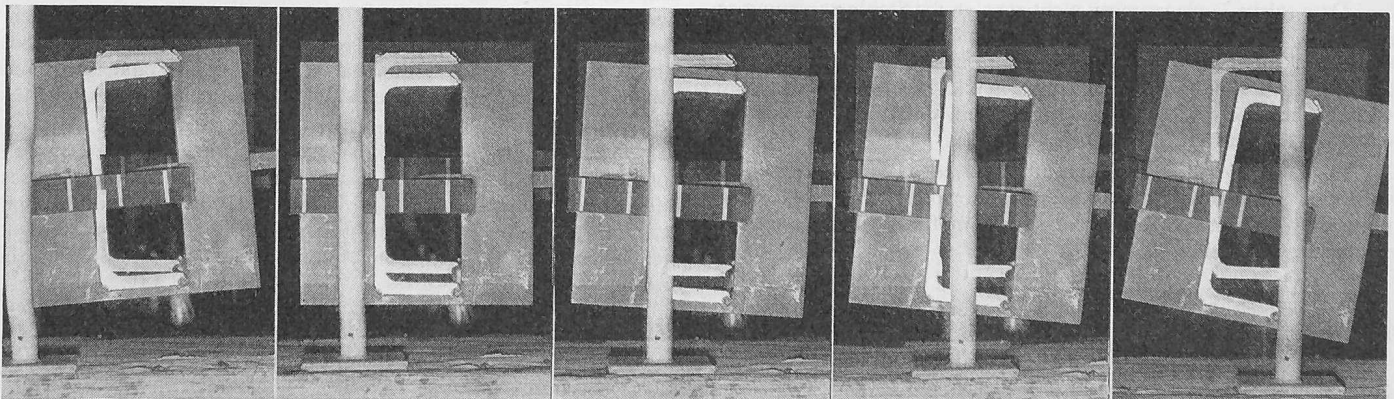
- Umlagerungen in der Arbeitsweise der Tragwerke infolge
 - Überschreiten des rein elastischen Bereiches,
 - Überschreiten von Stabilitätsgrenzen,
 - Änderungen im Zusammenwirken mehrerer Baustoffe,
- d) dynamisches Verhalten von Bauteilen.

Was die *Bau- und Werkstoffe* selber anbelangt, so eignen sich gerade die wichtigsten unter ihnen, nämlich Stahl, Beton und Holz besonders gut, um unterschiedliche Eigenschaften und verschiedenartiges Verhalten deutlich zu machen. Dies erfolgt vor allem in den obligatorischen Übungen des 4. Semesters. Wegen der grossen Zahl der Studierenden müssen die entsprechenden Versuche im allgemeinen vorgeführt werden. Doch sind auch hier Ansätze vorhanden für eine in kleinen Gruppen – ähnlich wie in den Vermessungsübungen – von den Studierenden weitgehend selbständige Durchführung wenigstens der Hauptversuche, etwa über die Zugfestigkeit von Armierungsstahl oder über die Betonfestigkeit.

Beim *Stahl* wird das enorme Verformungsvermögen herausgestellt und in Vergleich gesetzt zum geringen Ausmass der elastischen Formänderungen. Deutlich zu machen ist ferner, dass ein zäher Stahl sehr wohl auch spröde brechen kann. Der Einfluss mehraxiger Spannungszustände, schlagartiger Beanspruchung, tiefer Temperaturen wird gezeigt, die Auswirkung vorausgegangener Verformungen verschiedenster Art zur Darstellung gebracht. Dass sich der Ablauf von Langzeitvorgängen nicht gut demonstrieren lässt, liegt auf der Hand; auf Alterungs- und Ermüdungsvorgänge, Kriech- und Relaxationserscheinungen kann nur durch Vorweisen von Versuchsergebnissen und Bruchstücken und durch Erläuterung der Versuchseinrichtungen hingewiesen werden.

Bild 1. Verformungen im Endquerschnitt eines 2,95 m langen, einseitig eingespannten Profils □ AP 200 infolge einer dort mittels der sichtbaren vertikalen Stange aufgebrachten Belastung von 880 kg. e = Abstand der Wirkungslinie der Belastung vom Schubmittelpunkt

$e = -4,00$ cm (links vom Schubmittelpunkt) $e = 0$ (im Schubmittelpunkt) $e = 2,60$ cm (in der Stegebene) $e = 4,42$ cm (im Schwerpunkt des Querschnittes) $e = 8,50$ cm (rechts vom Schubmittelpunkt)



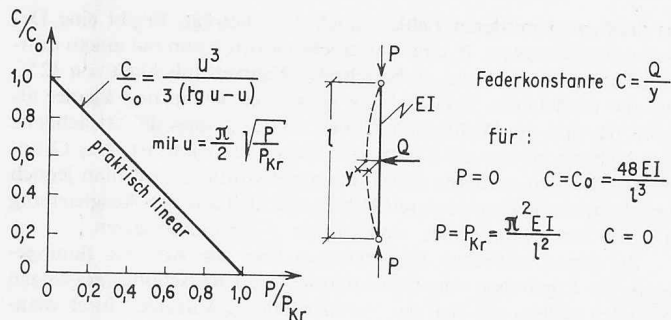


Bild 2. Knicken als Spezialfall des querbelasteten Stabes. Federkonstante C in Abhängigkeit von der Axialkraft P

Beton wird auch heute, im Zeitalter der Betonfabriken, noch vielfach nach den Angaben und unter Aufsicht und Verantwortung des Bauingenieurs hergestellt, immer dann jedenfalls, wenn eine ausgezeichnete Qualität oder besondere Eigenschaften gefordert sind. Die Demonstrationen legen deshalb das Schwergewicht auf die zweckmässige Zusammensetzung und Behandlung des Betons mit anschließender Prüfung der mechanischen Eigenschaften und Hinweisen auf die Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit und der Frostbeständigkeit.

Das Holz wird als Beispiel für ein ausgesprochen anisotropes Material vorgestellt. Der einem unzweckmässigen Abstützen eines Pfostens nachgebildete Querdruckversuch, nass und trocken vorgeführt, dürfte die Konsequenzen deutlich in Erinnerung behalten lassen.

Unter den *baustatischen Besonderheiten* eignen sich Torsionsprobleme und das Stabknicken gut zu eindrücklichen Experimenten. Die Gegenüberstellung der Beanspruchung und der Verformung eines vollen und eines längsgeschlitzten Rohres zeigt die weit grössere Verdrehsteifigkeit des geschlossenen Hohlquerschnitts und dessen Schwächung durch Unterbrechung des Bredt'schen Schubflusses. Eine Demonstration der Existenz des Schubmittelpunkts anhand der Verformung eines \square -Profils mit baumässigen Abmessungen, verbunden mit Dehnungsmessungen, zeigt die Zuverlässigkeit der theoretischen Überlegungen (Bild 1).

Die Knicksicherheit eines schlanken Stabes kann als Grenzfall des querbelasteten Stabes dargestellt (Bild 2) und «handgreiflich» spürbar gemacht werden durch Abgreifen der wirksamen Biegesteifigkeit unter steigender Druckkraft (Bilder 3a und 3b). Das Auftragen der aus einer leichten Krümmung oder Exzentrizität δ_0 entstehenden Durchbiegung δ in der Southwell'schen Darstellung $\delta/P = (\delta + \delta_0) \cdot 1/P_{kr}$ ist ein ausgezeichnetes Beispiel, wie die saubere theoretische Erfassung einer Erscheinung helfen kann, die experimentelle Überprüfung ganz erheblich zu erleichtern.¹⁾

Was die *Umlagerungen in der Lastaufnahme* anbelangt, so drängen sich in erster Linie Versuche mit Stahlbeton-Bauelementen, der Einfachheit halber vor allem mit Balken auf. Sie können die Rissbildung, ihren Mechanismus und die daraus folgenden Umlagerungen mit dem zunehmenden Verformungsgradienten zeigen, mit wachsender Belastung dann auch die Folgen von Relativverschiebungen zwischen Stahlarmierung und Betonumhüllung, die unter Umständen zu einer völligen Umlagerung der Arbeitsweise des Tragsystems führen kann. Wie weit solche Erscheinungen durch Vorspannung vermieden oder hinausgeschoben werden können, wird an analogen Balken vorgeführt, wobei auch Effekte der Krafteinleitung und -umleitung zur Darstellung gelangen.

Dass solche Umlagerungen nicht etwa an die Stahlbetonbauweise gebunden, sondern auch bei Stahlbauten möglich sind, lässt sich an einem Balken zeigen, mit einem Steg aus einem Stoffgewebe, dessen fehlende Schubsteifigkeit durch eng gesetzte Pfosten zwischen den Gurten überbrückt wird. Das entspricht dem Grenzfall des Wagner'schen Zugdiagonalenfeldes²⁾.

Zur *Demonstration des dynamischen Verhaltens* von Bauelementen wird eine vorgespannte Stahlbetonplatte sowohl stossartig als auch pulsierend belastet, um Stossfaktoren, Dämpfungs- und Resonanzerscheinungen ableiten zu können.

¹⁾ Southwell R. V.: Proc. Roy. Soc., London, Series A, vol. 135, p. 601, 1932.

²⁾ Wagner H.: «Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt», 20. Jahrg., S. 200 ff., R. Oldenbourg, München und Berlin, 1929.

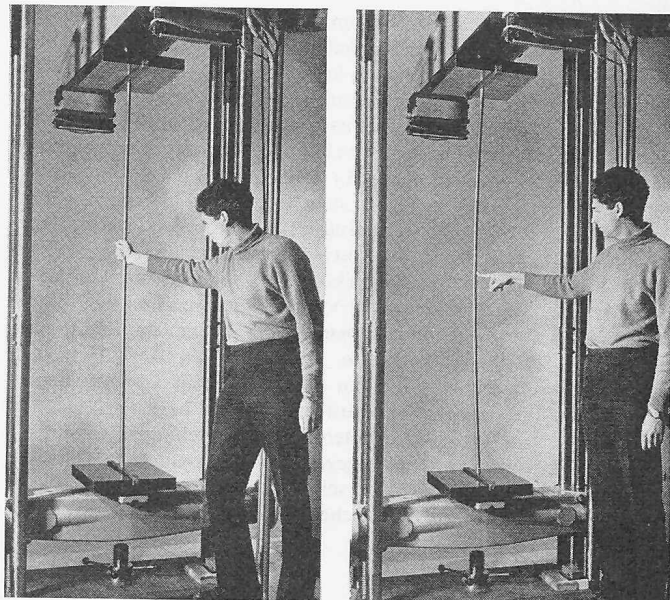


Bild 3a (links). Bei geringer Axialkraft grosse Federkonstante (im Beispiel für $P = 0$, $C = 8,9 \text{ kg/cm}$, wobei $l = 185 \text{ cm}$, $I = 0,544 \text{ cm}^4$)
Bild 3b (rechts). Mit zunehmender Axialkraft abnehmende Federkonstante (für $P = P_{kr} = 332 \text{ kg}$, $C = 0$)

Versuche im Umfang des im Rahmen der zweiten, dritten und vierten Gruppe Gezeigten erfordern einen beträchtlichen Aufwand und gestalten sich recht kostspielig. Verschiedene Firmen stellen uns grosszügig Material zur Verfügung. Versuche mit Prüflingen in baumässigen Abmessungen rechtfertigen sich indessen, weil damit ein augenfälliger Vergleich zwischen den verschiedenen Berechnungen – etwa für den elastischen Bereich, die Stabilität oder den Bruchzustand – und der Wirklichkeit möglich wird durch Beobachtung

- des elastischen Bereiches mit den linearen und reproduzierbaren Verformungen;
- des Gebrauchszustandes mit der in Stahlbeton auftretenden beschränkten Rissbildung und den besonders bei geschweissten Stahlelementen oft unvermeidbaren lokalen Flusserscheinungen;
- der direkt erkennbaren Begrenzung des Gebrauchszustandes infolge grosser Verformungen, Rissbildungen oder Schwingungserscheinungen;
- des im plastischen Bereich meist eindrücklichen Verformungsvermögens sowohl von Stahlelementen wie von solchen aus Stahlbeton mit Durchbiegungen von im allgemeinen mehr als $1/50$ der Spannweite mit dem oft noch erstaunlichen Erholungsvermögen;
- der Grenze der Tragfähigkeit, die bei Stahlelementen (wenn nicht gerade ein Spröbruch auftritt) selten durch einen Bruch oder ein Zerreißen des Stahles als vielmehr durch die verschiedensten integralen oder lokalen Instabilitäten wie Knicken, Beulen oder Kippen und bei Beton durch die verschiedenen Formen wie Biegebruch, Druckbruch infolge Moment und Querkraft, Verankerungsbruch, Durchstanzen usw. erreicht wird.

Die Möglichkeit, die Belastung im plastischen Bereich nicht nach regelmässigen Laststufen als vielmehr nach den auftretenden Deformationen einzustellen, lässt es zu, sich der Grenze der Tragfähigkeit in behutsamen Schritten zu nähern, wobei es meistens gelingt, den eigentlichen Bruchvorgang verhältnismässig langsam durchzuspielen. Damit werden wertvolle Aufschlüsse über den Bruchablauf gewonnen. Hinzuweisen ist dann allerdings auf den unter Umständen anderen Ablauf des Versagens unter den in Wirklichkeit meistens zu erwartenden Lastfällen.

In seiner späteren Praxis will der Bauingenieur ja nie in den Fall kommen, gefährliche Grenzzustände oder gar ein Versagen eines Bauwerkes mitanschen zu müssen. Während seinem Studium sollte ihm der ganze Verhaltensbereich doch einmal vor Augen geführt werden, nicht zuletzt auch, weil dies seine Intuition und seine Phantasie mächtig anzuregen vermag.

Adresse der Verfasser: Prof. Ed. Amstutz, Direktionspräsident, und Dr. A. Rösli, Abteilungsvorsteher der EMPA, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.